

O I P E

4

2877

OCT 06 2003

TRANSMITTAL LETTER
(General - Patent Pending)Docket No.
0250/US

In Re Application Of:

Michael Kuchel

Serial No.
10/053,741Filing Date
1/22/2002Examiner
Michael A. LyonsGroup Art Unit
2877

Title:

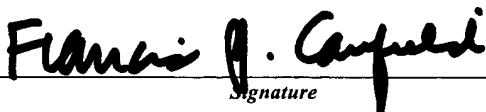
APPARATUS AND METHOD(S) FOR REDUCING THE EFFECTS OF COHERENT ARTIFACTS IN AN
INTERFEROMETERTO THE COMMISSIONER OF PATENTS AND TRADEMARKS:

Transmitted herewith is:

-LETTER TRANSMITTING CERTIFIED COPY OF FOREIGN PRIORITY DOCUMENT IN ACCORDANCE
WITH 35 U.S.C. 119(b)RECEIVED
OCT - 9 2003
TECHNOLOGY CENTER 2800

in the above identified application.

- ☒ No additional fee is required.
- ☐ A check in the amount of _____ is attached.
- ☒ The Commissioner is hereby authorized to charge and credit Deposit Account No. 03-1150
as described below. A duplicate copy of this sheet is enclosed.
- ☐ Charge the amount of _____
- ☒ Credit any overpayment.
- ☒ Charge any additional fee required.


Signature

Dated: October 2, 2003

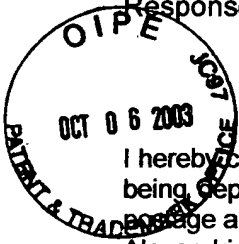
Francis J. Caufield
Registration No. 27,425
Customer No. 30333
6 Apollo Circle
Lexington, MA 02421Ph: 781 860 5254
Fax: 781 862 9464I certify that this document and fee is being deposited
on 10/2/2003 with the U.S. Postal Service as
first class mail under 37 C.F.R. 1.8 and is addressed to the
Commissioner of Patents and Trademarks, Washington,
D.C. 20231.
Signature of Person Mailing Correspondence

Francis J Caufield

Typed or Printed Name of Person Mailing Correspondence

CC:

Appl. No. 10/053,741
Amendment dated: October 2, 2003
Response to Office Action of September 8, 2003



CERTIFICATE OF MAILING

I hereby certify that this paper (along with any paper referred to as being attached or enclosed) is being deposited with the United States Postal Service on the date shown below with sufficient postage as first class mail in an envelope addressed to the Commissioner For Patents, Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.

Date: October 2, 2003

Signature: Francis J. Caufield

Francis J. Caufield
Registration No. 27,425

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Appl. No. : 10/053,741
Applicant : Michael Kuchel
Filed : January 22, 2002
Title : APPARATUS AND METHOD(S) FOR REDUCING THE EFFECTS OF
COHERENT ARTIFACTS IN AN INTERFEROMETER

TC/A.U. : 2877
Examiner : Michael A. Lyons

Docket No. : 0250/US

Honorable Commissioner For Patents
PO Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

RECEIVED
OCT - 9 2003
TECHNOLOGY CENTER 2800

**LETTER TRANSMITTING CERTIFIED COPY OF FOREIGN PRIORITY DOCUMENT IN
ACCORDANCE WITH 35 U.S.C. 119(b)**

Sir:

The Office Action mailed on September 8, 2003 indicated that a Certified Copy of the document from which priority was claimed pursuant to 35 U.S.C. 119; namely, German Patent Application No. 10121516.9, filed in Germany on May 3, 2001, had not yet been received by the Patent Office. Consequently, please accept the enclosed Certified Copy of the missing priority document to satisfy the requirements under 35 U.S.C. 119.

Should any fee be required in connection with the admission of this priority document, please charge my Deposit Account No. 03-1150.

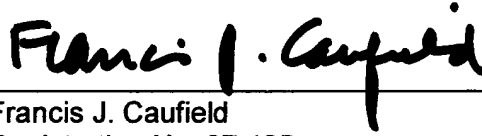
Should anything further be required with respect to the priority claim, please do not hesitate to contact me.

Appl. No. 10/053,741
Amendment dated: October 2, 2003
Response to Office Action of September 8, 2003

Respectfully submitted,

October 2, 2003

Date

A handwritten signature in black ink, reading "Francis J. Caufield". The signature is written in a cursive style with a large, stylized "F" and "C".

Francis J. Caufield
Registration No. 27,425

Customer Number 30,333

6 Apollo Circle
Lexington, MA 02421-7025

Telephone: 781 860 5254
Facsimile: 781 862 9464



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 101 21 516.9

Anmeldetag: 03. Mai 2001

Anmelder/Inhaber: Professor Dr.-Ing. Michael K ü c h e l,
Oberkochen/DE

Bezeichnung: Vorrichtung und Verfahren zur Verminderung
der Wirkungen kohärenter Bildfehler in
einem Interferometer

IPC: G 01 B, G 01 J, G 02 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 04. September 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag



Leitung

Vorrichtung und Verfahren zur Verminderung der Wirkungen kohärenter Bildfehler in einem Interferometer

Hintergrund der Erfindung

Die Erfindung bezieht sich allgemein auf ein interferometrisches Gerät und auf Verfahren, und insbesondere auf die Konstruktion und die Benutzung von Lichtquellen, durch die kohärente Bildfehler, die sonst in einem Interferogramm vorhanden wären, unterdrückt werden können, um das Gesamtsignal/Rauschverhältnis zu verbessern.

Optische Systeme aller Art werden ungünstig durch Hintergrundlicht, Geisterbilder und/oder unerwünschtes Licht beeinträchtigt, das von Elementen in einem optischen Aufbau gestreut wird, und es sind zahlreiche Techniken entwickelt worden (beispielsweise Schutzschilde und Blenden), um das Ausmaß zu beschränken, mit dem derartige unerwünschtes Licht ein Bild erreicht. In einem optischen System, das kohärentes Licht benutzt, addiert sich der Hintergrund einfach zu dem Gesamtlichtpegel am Bild. In photographischen Systemen kann derartige Licht als Blendverschleierung charakterisiert werden, welches bewirkt, daß der Kontrast der fertigen Photographie vermindert wird. Ein weiteres allgemeines Beispiel ist die Verminderung der Sicht, der ein Fahrer eines Kraftfahrzeugs ausgesetzt wird, wenn er durch eine schmutzige Windschutzscheibe hindurchsehen muß, wobei die Streuung eine Gesamtblendung erzeugt, die den Kontrast in dem umgebenden Gelände vermindert.

Wenn jedoch das optische System eine kohärente Strahlung benutzt (z.B. Laserlicht), wie dies bei zahlreichen Typen von Interferometern der Fall ist, dann kann das Streulicht das interferometrische Bild stören, indem Lichtpegeländerungen hoher Amplitude mit einer räumlichen und/oder zeitlichen Struktur erzeugt werden, die das gewünschte Interferenzmuster vollständig maskieren kann. Die extreme Empfindlichkeit dieser Interferometer ist die Ursache dafür, daß sie selbst durch den

geringsten Hintergrund störend beeinflußt werden, der durch die geringsten Fehler in irgendeinem praktischen System erzeugt werden kann. Staub oder geringe Kratzer auf den optischen Oberflächen des Systems oder selbst Veränderungen in den Antireflex-Überzügen sind nur einige wenige Beispiele von Fehlern, die problematisch sein können. Zusammengefaßt werden diese Fehler und Defekte oft als optische Bildfehler bezeichnet, und wenn diese in kohärenten optischen Systemen beobachtet werden, bezeichnet man sie als kohärente Bildfehler.

Eine gewöhnlich benutzte kommerzielle Interferometer-Geometrie ist als Fizeau-Geometrie bekannt. Die Fizeau-Geometrie hat zahlreiche Vorteile: Das optische System hat einen gemeinsamen Pfad; es hat eine minimale Zahl optischer Komponenten; und es ist sehr gut herstellbar. Die ungleiche Pfadausbildung zwingt jedoch zur Benutzung kohärenter Lichtquellen. Demgemäß kann Licht von allen Stellen der Systemoptik und des Interferometers einschließlich von Steuungen von kleinen Oberflächendefekten wie Kratzern, Vertiefungen oder Staub (oder Volumendefekten, beispielsweise Blasen) das Interferogramm beeinflussen. Diese Fehler wirken als Lichtstreucentren und erzeugen charakteristische Ringmuster, die als Newton'sche Ringe oder "Bullaugen"-Muster bezeichnet werden, die auf das gemessene Phasenbild aufgedruckt werden und die extrahierte Oberflächentopographie beeinträchtigen. Selbst die geringste Mikrorauigkeit von gut polierten Oberflächen und Antireflex-Überzügen tragen zur Mikrogestalt der Wellenfronten im Interferometer bei, und da die Wellenfronten nicht mehr gemeinsam in einem solchen seitlichen Maß von Rauigkeit passieren, setzen sie sich selbst in den abschließend gemessenen Wellenfronten fest.

Eine gemeinsame Praxis, die verantwortlich ist zur Einführung von Bildfehlern, ist die Benutzung kommerziell verfügbarer optischer Komponenten, die nicht speziell zur Benutzung für Interferometer-Konfigurationen ausgebildet sind und die Benutzung von Lichtquellen mit dem Gesichtspunkt der Verminderung von Bildfehlern, wobei jedoch andere Eigenschaften vorhanden sind, die sie kommerziell attraktiv aus ökonomischen Gründen machen. Auf Lager befindliche Linsen haben beispielsweise oft die gewünschten technischen Daten, was Blende, Feld, Brennweite und Aberrationssteuerung betrifft, aber sie besitzen eine Innenstruktur, die, obgleich für andere Anwendungen geeignet, unerwünschte Bildfehler in Interferometer einführt.

Ein allgemein bekanntes Verfahren zur Verminderung der Wirkungen kohärenter

Bildfehler in Interferometern ist die Benutzung einer räumlich ausgedehnten Quelle, im typischen Fall in Form einer Scheibe. Die räumliche Kohärenz der Quelle stellt jedoch einen Kompromiß mit einer gedehnten Quelle dar, und dies führt zur Erzeugung von sichtbaren Interferenzstreifen für nur einen begrenzten Bereich von Interferometerlängen, die durch den Durchmesser der Quelle bestimmt sind.

Demgemäß ist es Hauptaufgabe der Erfindung, eine neue ausgedehnte Quellengeometrie zu beschreiben, die nicht unter der Kontrastverminderung herkömmlicher ausgedehnter Quellen leidet und eine ausgezeichnete Unterdrückung unerwünschter Interferenzen von Oberflächen und Gegenständen bewirkt, die weit von dem interessierenden Gegenstand entfernt sind, um die Genauigkeit und Auflösung des Oberflächenprofils unter Benutzung einer Phasenverschiebungs-Interferometrie zu verbessern.

Ein weiteres Ziel der Erfindung besteht darin, eine zweckmäßige Möglichkeit zu schaffen, um die Interferenzphase zu modulieren, und weiter bezweckt die Erfindung, spezielle Anwendungen zu verbessern, die für die Phasenverschiebungs-Interferometrie entwickelt wurden.

Noch ein weiteres Ziel der Erfindung besteht darin, eine Möglichkeit zu schaffen, um die Interferenz von Oberflächen zu unterdrücken, die parallel zu der interessierenden Oberfläche verlaufen, wie dies der Fall ist bei der Messung einer Oberfläche paralleler Ebenen.

Ein weiteres Ziel der Erfindung besteht darin, eine Quelle zu schaffen, um die Wirkungen von Bildfehlern in Interferometern zu reduzieren, wobei auf Lager befindliche optische Bauteile benutzt werden können.

Ein weiteres Ziel der Erfindung besteht darin, eine Quelle zu schaffen, die zur Verminderung von Bildfehlern in Interferometern ungleicher Pfadlänge benutzt werden kann, beispielsweise in Geräten der Fizeau-, Mirau- und Twyman-Green-Typen.

Weitere Ziele der Erfindung sind teilweise klar und ergeben sich aus der folgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit der Zeichnung.

Zusammenfassung der Erfindung.

5 Allgemein bezieht sich die vorliegende Erfindung auf interferometrische Geräte und
Verfahren zur Bewahrung des Streifenkontrastes in Interferogrammen, wobei
kohärente Bildfehler unterdrückt werden, die sonst in einem Interferogramm wegen
der kohärenten Überlagerung unerwünschter Strahlung vorhanden sind, die in dem
10 Interferometer erzeugt werden. Verschiedene Ausführungsbeispiele der Erfindung
ermöglichen dieses Ergebnis durch Benutzung der Beleuchtung und durch
interferogrammetrische Abbildungsarchitekturen, die individuelle Interferogramme
erzeugen, welche die gleiche Phaseninformation vorgewählter Charakteristiken oder
Eigenschaften einer Testoberfläche enthalten (z.B. Wellenfront, Topographie), und
15 zwar aus der Perspektive unterschiedlicher, von der Achse versetzter
Beleuchtungspunkte in einem Interferometer. Derartige individuelle Interferogramme
werden kombiniert, um den Streifenkontrast zu bewahren, wobei gleichzeitig bewirkt
wird, daß Bildfehler an verschiedenen Feldstellen derart existieren, daß ihr Anteil an
dem kombinierten Interferogramm verringert wird. Auf diese Weise werden die
20 gleichen Phasendifferenzen im Interferometer, die speziellen Stellen einer
Testoberfläche entsprechen, durch die Optiken längs unterschiedlicher Lichtpfade
abgebildet.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung umfaßt einen Beleuchtungsmechanismus, der
eine ausgedehnte Quellenstruktur erzeugt, z.B. in Form eines dünnen Rings mit
einem konstanten Nennradius, der mit einem Nennwert um die optische Achse eines
25 Interferometersystems zentriert ist. Der Ring definiert die Interferometer-
Quellenebene. Das Interferometersystem projiziert die Quellenbeleuchtung in ein
Interferometer, wo die Beleuchtung in zwei getrennte Beleuchtungspfade
aufgespalten wird. Die Beleuchtung von den beiden getrennten Pfaden wird wieder
kombiniert, nachdem sie das Interferometer verlassen hat und wird auf einen
30 Detektor projiziert, der in einer Bildebene liegt, wo das Interferogramm detektiert und
anschließend analysiert wird.

Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel wird eine Punktquelle in einer
Quellenebene in der Weise bewegt, daß sie einen Kreis mit konstantem Radius um
35 die optische Achse in einer kürzeren Zeit bewegt, die notwendig ist, um ein
Detektorbild zu belichten. Auf diese Weise wird eine "virtuelle" ringförmige Quelle
erzeugt.

Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel wird der Radius des Quellenrings (direkt erzeugt oder virtuell) dynamisch geändert, und zwar entweder kontinuierlich oder schrittweise, wobei der Detektor das Interferogramm abgreift. Da sich der Ringradius ändert, ändert sich die Phase des Interferogramms in vorbestimmter Weise, wodurch die Möglichkeit geschaffen wird, die interferometrische Phase in einer Weise zu modulieren, wie sie durch Phasenverschiebung oder Interferometer-Anwendung mit Phasenschritten erforderlich ist.

Gemäß einem Merkmal der Erfindung wird eine Punktquelle seitlich bezüglich der optischen Achse bewegt, und diese erzeugt eine interferometrische Phasenänderung, wobei gleichzeitig die interferometrische Phase durch einen anderen Phasenmodulator so verschoben wird, daß die interferometrische Phase nominell konstant bleibt. Auf diese Weise wird die interferometrische Phase konstant gehalten, während die Beleuchtungsrichtung sich ändert, wodurch die Wirkungen kohärenter Bildfehler im wesentlichen ausradiert werden. Die zusätzliche Phasenverschiebung kann durch einen herkömmlichen mechanischen Umsetzer bewirkt werden, der eine der Interferometeroberflächen umsetzt, oder durch Abstimmung der Beleuchtungswellenlänge.

Gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung wird eine Oberfläche eines transparenten flachen Körpers in Gegenwart der Interferenz von der anderen Oberfläche gemessen, indem eine Punktquelle seitlich bezüglich der optischen Achse bewegt und eine interferometrische Phasenänderung erzeugt wird, wobei gleichzeitig die interferometrische Phase durch einen weiteren Phasenmodulator derart verschoben wird, daß die interferometrische Phase des Interferogramms aufrechterhalten wird, die durch die gewünschte Oberfläche des flachen, bezüglich des Nennwertes konstanten Körpers während jener Zeit erzeugt wird, die verstreicht, um ein Detektorbild zu belichten. Auf diese Weise wird die interferometrische Phase von der gewünschten Oberfläche konstant gehalten, während die interferometrische Phase von der anderen Oberfläche sich im wesentlichen ändert, wodurch die Interferenzstreifen von der unerwünschten Oberfläche ausgewaschen werden.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen.

Der Aufbau, die Arbeitsweise und die Methode der Erfindung ergeben sich zusammen mit anderen Aufgaben und Vorteilen der Erfindung aus der folgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit der Zeichnung, wobei jedes Teil ein zugeordnetes Bezugszeichen aufweist, das dieses Teil identifiziert, wenn es in den verschiedenen Zeichnungen auftritt. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 ist eine schematische Ansicht zur Berechnung der Differenz im optischen Pfadabstand (OPD) zwischen Interferogrammen, die durch einen auf der Achse liegenden Testpunkt erzeugt wurden mit einer Beleuchtung aus einer Punktquelle auf dem Rand einer Quellscheibe mit dem Durchmesser d und einer Punktquelle im Mittelpunkt der Scheibe (auf der Achse). Der Punktquellenpfad auf der Achse erzeugt eine durchgehende (zweimal bedeckte) Linie auf der Achse, während die von der Achse versetzte Punktquelle den Pfad erzeugt, der strichliert dargestellt ist;

Fig. 2 ist eine schematische Darstellung, die zeigt, wie der optische Pfadabstand (OPD) in einem Fizeau-Interferometer, das mit Luft gefüllt ist, kleiner wird, wenn der Einfallswinkel α ansteigt, wobei die Dicke des Luftspaltes gleich L ist;

Fig. 3 ist eine der Fig. 2 entsprechende Ansicht, wobei das Fizeau-Interferometer mit Glas mit dem Index n (planparallele transparente Platte) anstatt mit Luft versehen ist;

Fig. 4 ist eine schematische Darstellung, die die Beziehung zwischen Bildhöhe, Feldwinkel und Brennweite einer Linse zeigt;

Fig. 5 ist eine schematische Ansicht eines Ausführungsbeispiels der Erfindung mit einer Lichtquelle S , einer Kollimator- und Abbildungsoptik, einem CCD-Detektor und einem Fizeau-Interferometer, wobei die Gegenstandspunkte A und B in Bildpunkten A' und B' abgebildet werden; wobei A und B auf einer Testoberflächenebene T liegen, während die Bildpunkte A' und B' auf der CCD-Detektorebene angeordnet sind, wobei die Lichtquelle in unterschiedlichen Stellungen gegenüber der optischen Achse OA gezeigt ist. In der oberen Skizze ist sie von der Achse in einer von der Achse entfernten Stellung verschoben, die unter der optischen Achse liegt, und in der unteren Skizze ist sie um den gleichen Betrag, aber über die optische Achse,

versetzt. Die optische Pfaddistanz OPD ist in beiden Fällen gleich, wobei die unterschiedlichen Gegenstandspunkte A und B wiederum die gleiche OPD aufweisen;

5 Fig. 6 ist eine schematische Ansicht eines Ausführungsbeispiels der Erfindung mit einem PZT, einem sich drehenden Strahlteiler, einem rotierenden Keil, der als Doppelphasen-Verschiebungsmittel wirkt und mit einer virtuell ausgedehnten Quelle;

1 Fig. 7A ist eine schematische Ansicht eines anderen Ausführungsbeispiels der Erfindung, wobei zwei in Reihe liegende Keile vorhanden sind, die durch eine spezielle Elektronik oder einen Computer gesteuert werden und mehrere Muster in der Brennebene einer Linse beschreiben, z.B. Kreise mit unterschiedlichen Durchmessern oder Ellipsen mit unterschiedlichen kleinen und großen Achsen, Linien unterschiedlicher Orientierung;

15 Fig. 7B ist eine schematische Ansicht eines weiteren Ausführungsbeispiels der Erfindung, wobei zwei Spiegel Ergebnisse bringen, die äquivalent jenen des Ausführungsbeispiels nach Fig. 7A sind;

20 Fig. 8 ist eine schematische Ansicht eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Beleuchtungssystems, das eine Multimodefaser benutzt, die durch eine Quelle derart erregt wird, daß das Ausgangsmodalmuster der Faser die Form eines Kreises besitzt, dessen Durchmesser durch Änderung des Einfallwinkels der Erregerquelle geändert werden kann; und

25 Fig. 9 zeigt mit den Unterfiguren 9a bis 9d unterschiedliche erfinderische Quellenmuster, die massive und virtuelle Einzel- und Doppelring-Möglichkeiten benutzen.

30 Detaillierte Beschreibung der Erfindung.

35 Die vorliegende Erfindung bezieht sich allgemein auf interferometrische Geräte und Verfahren zur Aufrechterhaltung des Streifenkontrastes in den Interferogrammen, wobei kohärente Bildfehler unterdrückt werden, die sonst im Interferogramm vorhanden sind, weil eine kohärente Überlagerung unerwünschter Strahlung erfolgt, die im Interferometer erzeugt wird. Mehrere verschiedene Ausführungsbeispiele der

Erfindung erreichen dieses Ergebnis durch Benutzung einer Beleuchtungsstruktur und einer interferogrammetrischen Abbildungsarchitektur, wodurch individuelle Interferogramme von interessierenden Testoberflächen aus der Perspektive unterschiedlicher Beleuchtungspunkte erzeugt werden, die alle von der optischen Achse entfernt sind, d.h. nicht in der Achse liegen. Diese individuellen Interferogramme werden dann kombiniert, um den Streifenkontrast in einem integralen Interferogramm aufrechtzuerhalten, wobei gleichzeitig Sorge dafür getragen wird, daß Bildfehler an unterschiedlichen Feldstellen derart erscheinen, daß der Anteil der Bildfehler in dem kombinierten Interferogramm verdünnt, verschmiert oder ausgewaschen wird. Demgemäß werden die gleichen Phasendifferenzen in dem Interferometer, die den speziellen Stellen auf einer Testoberfläche entsprechen, über Optiken längs unterschiedlicher Lichtpfade abgebildet. Die Erfindung umfaßt weitere Merkmale zur Phasenmodulation, die die Benutzung in Verbindung mit Phasenverschiebungs- und Stufeninterferometrie-Techniken möglich machen.

Zum Verständnis der Erfindung ist es nützlich, zunächst die Natur der Quelle zu untersuchen, die benutzt wird, um individuelle Interferogramme zu erzeugen, und um zu erkennen, wie die in jedem dieser individuellen Interferogramme enthaltene Phaseninformation im wesentlichen identisch ist, so daß eine zweckmäßige Kombination vorgenommen werden kann und Bildfehler unterdrückt werden.

Eine ausgedehnte Quelle kann angesehen werden als eine große Zahl physikalisch getrennter Punktquellen. Aus der Perspektive eines jeden Quellenpunktes verschiebt sich die Lage eines Bildfehlers im Feld infolge der Parallaxe. Deshalb kann ein ordnungsgemäß abgebildetes fertiges interferometrisches Bild hergestellt werden, das die Summe von Bildern aus einzelnen Interferogrammen ist, die allen Punktquellen entsprechen, wobei wirksam Interferenzmuster ausgeblendet werden, die von dem Bildfehler herrühren. Jedoch im Unterschied zu typischen ausgedehnten Quellen hält die Quelle nach der Erfindung einen guten Streifenkontrast aufrecht, indem gewährleistet wird, daß die Interferogramme, die von jedem Quellenpunkt erzeugt werden, identisch sind (d.h. ihre optischen Pfaddifferenzen (OPD) sind die gleichen).

Um den Unterschied zwischen der erfindungsgemäßen Lichtquelle und typischen ausgedehnten bekannten Lichtquellen zu verstehen, ist es nützlich, die Eigenschaften einer typischen Scheibenquelle zu betrachten, die auf der optischen

Achse zentriert ist. Eine derartige Scheibenquelle erfüllt nicht die Forderung, die durch die Erfindung erreicht wird, da Punktquellen unterschiedlicher Lage längs eines Radius der Scheibe unterschiedliche Interferogramme erzeugen. Dies kann leicht dadurch demonstriert werden, daß die OPDs für eine bestimmte Stelle auf der Testoberfläche von einer Punktquelle im Mittelpunkt der Scheibe (auf der Achse) mit einer Punktquelle verglichen werden, die am Rand der Scheibe liegen. Es soll aus Zweckmäßigkeitsgründen ein Interferometer mit einer Fizeau-Geometrie gemäß Fig. 1. angenommen werden. Eine kreisförmige ausgedehnte Quelle soll den Durchmesser d haben, die Interferometerlänge beträgt L und die Kollimator-Brennweite beträgt f . Für diese feste Konfiguration kann gezeigt werden, daß die Differenz Δ in den OPDs annähernd gegeben ist durch:

$$\Delta \approx 2\sqrt{L^2 + \left(\frac{d}{2f}L\right)^2} - 2L \approx \frac{L}{4}\left(\frac{d}{f}\right)^2 \quad (1a)$$

Natürlich vergrößert sich Δ schnell mit d , und dies bedeutet, daß der Kontrast des Interferogramms schnell abfällt, wenn der Scheibendurchmesser zunimmt. Die folgende Diskussion erklärt in Verbindung mit Fig. 2 im einzelnen, warum dies der Fall ist und unter welchen Bedingungen die Kontrastverminderung verringert werden kann.

Nunmehr soll das optische System gemäß Fig. 2 betrachtet werden, wo eine Beleuchtungsebenen-Welle Σ auf ein Fizeau-Interferometer der Länge L auftrifft, und zwar mit einem Einfallswinkel α . Das Fizeau-Interferometer ist von der Bezugsfläche R aufgebaut, und die Testoberfläche T und der dazwischenliegende Raum ist mit Luft ausgefüllt. Die Vorderseite und die Rückseite der Platten, die die Bezugsfläche bzw. die Testoberfläche R bzw. T tragen, sind zur Vereinfachung weggelassen. Die Testoberfläche T trägt einen Punkt A , für den der schräge Strahl, d.h. der Mittelpunktstrahl zur Abbildung des Punktes A , auf einem CCD-Detektor dargestellt ist. Der CCD-Detektor selbst sowie alle anderen optischen Elemente, die das Interferometer bilden, sind in Fig. 5 dargestellt und werden im einzelnen weiter unten diskutiert.

Aus den Fig. 2 und 5 ist ersichtlich, daß unterschiedliche Strahlen von der beleuchtenden ebenen Welle Σ , die ursprünglich einen seitlichen Abstand von $2h$ an der Bezugsfläche hatten, sich nach Reflexion von der Bezugsfläche

bzw. der Testoberfläche kombinieren und schließlich den erwünschten Interferenzeffekt auf dem Detektor ergeben. Dabei ist festzustellen, daß diese beiden Strahlen nach der Reflexion auf den beiden Oberflächen (eingebundene Strahlen) gemeinsam durch das gesamte Instrument bis zum Detektor wandern, solange die beiden Oberflächen parallel zueinander eingestellt sind. Im Idealfall haben daher sämtliche Fehlstellen in den optischen Oberflächen den gleichen Einfluß auf beide Strahlen und zeigen sich nicht im Interferenzmuster. Dieses vorteilhafte Verhalten trifft nicht zu, wenn die Strahlen voneinander auch nur um einen sehr kleinen Betrag abweichen, was der Fall ist, wenn das Interferometer nicht perfekt auf Null eingestellt ist oder das Teststück etwas von der Ebene abweicht. Dies ist der allgemeine Fall, und aus diesem Grunde sieht die Erfindung eine Verbesserung in der Qualität der Messung vor.

Die Phasendifferenz, die entscheidend ist für das schließliche Interferenzmuster auf dem Detektor, ist eine Funktion der optischen Pfaddifferenz (OPD) innerhalb des Fizeau-Interferometers und eine Funktion der Wellenlänge des Lichts. Die optische Pfaddifferenz wird durch den Abstand L der beiden Oberflächen, die das Interferometer bilden, definiert und durch den Anstellwinkel α des Beleuchtungsstrahls. Dafür gilt das Folgende:

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot OPD = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot 2L \cos(\alpha) \quad (1b)$$

Insgesamt ist die Phasendifferenz φ eine Funktion der Wellenlänge λ , der Interferometerdicke L und des Anstellwinkels α . Die Position und Richtung der Strahlen, die den Punkt A über die Interferometeroptik beleuchten und abbilden, ändern sich mit dem Anstellwinkel α . Wenn sich α während der Integrationszeit eines Kamerabildes ändert, dann ändert sich auch der Einfluß der Mikrorauigkeit auf allen optischen Teilen mit Ausnahme des Teststücks selbst sehr schnell und löscht im Zeitdurchschnitt. Damit φ stationär mit sich änderndem Anstellwinkel α verbleibt, kann man eine Kompensation vornehmen, entweder durch Adaption von L oder λ , wie dies aus (1b) durch eine Taylor'sche Reihenexpansion abgeleitet werden kann:

$$\varphi(\alpha + \Delta\alpha, \lambda + \Delta\lambda, L + \Delta L) = \varphi(\alpha, \lambda, L) + \frac{\partial\varphi}{\partial\alpha} \Delta\alpha + \frac{\partial\varphi}{\partial\lambda} \Delta\lambda + \frac{\partial\varphi}{\partial L} \Delta L \rightarrow \varphi(\alpha, \lambda, L) \quad (2)$$

Die Gleichung (2) wird unter der folgenden Voraussetzung erfüllt:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \alpha} \Delta \alpha + \frac{\partial \varphi}{\partial \lambda} \Delta \lambda + \frac{\partial \varphi}{\partial L} \Delta L = 0 \quad (3)$$

Mit

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \alpha} = -\frac{2\pi}{\lambda} 2L \sin(\alpha) \quad (4a)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \lambda} = -\frac{2\pi}{\lambda} \frac{2L \cos(\alpha)}{\lambda} \quad (4b)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial L} = \frac{2\pi}{\lambda} 2 \cos(\alpha) \quad (4c)$$

kann die Gleichung (3) erfüllt werden durch

$$\Delta L = L \tan(\alpha) \cdot \Delta \alpha \quad (5)$$

wenn λ konstant gehalten wird oder

$$\Delta \lambda = \lambda \tan(\alpha) \cdot \Delta \alpha \quad (6)$$

wenn L konstant gehalten wird.

Wenn α zwischen 0 und α_1 geändert wird, dann sollte sich L von L_0 auf L_1 gemäß der folgenden Beziehung ändern:

$$\int_{L_0}^{L_1} \frac{1}{L} \cdot \Delta L = \int_0^{\alpha_1} \tan(\alpha) \cdot \Delta \alpha$$

$$\ln(L_1) = \ln(L_0) - \ln(\cos(\alpha_1)) = \ln\left(\frac{L_0}{\cos(\alpha_1)}\right) \quad (7)$$

$$L_1 = L_1(\alpha_1) = \frac{L_0}{\cos(\alpha_1)}$$

oder ähnlich

$$\lambda_1 = \lambda_1(\alpha_1) = \frac{\lambda_0}{\cos(\alpha_1)} \quad (8)$$

Aus der Definition der Brennweite eines Kollimators durch Gauss (vergleiche Fig. 4) folgt, daß

$$y = f \cdot \tan \alpha \quad (9)$$

wobei y der seitliche Abstand der Punktquelle von der optischen Achse des Kollimators ist. Durch Einsetzen von (9) in (7) und (8) ergibt sich die notwendige Interferometerlänge bzw. die Wellenlänge, wenn der Ort der Punktquelle seitlich von einer Lage auf der Achse in die Lage y verschoben wird.

$$L_1(y) = L_0 \sqrt{1 - \frac{y^2}{f^2}} \quad (10)$$

$$\lambda_1(y) = \lambda_0 \sqrt{1 - \frac{y^2}{f^2}} \quad (11)$$

Aus den Gleichungen (7) und (8) ist ersichtlich, daß Betrag und Vorzeichen der durchzuführenden Kompensation für beide Vorzeichen des Anstellwinkels α gleich sind, d.h. für eine Beleuchtung beispielsweise durch zwei komplementäre Beleuchtungspunkte auf beiden Seiten der optischen Achse gemäß Fig. 5. Die Wirkung wird durch $\cos(\alpha)$ beschrieben, und dies ist eine gerade Funktion. Das Gleiche gilt für die Gleichungen (10) und (11), wobei y quadriert ist und daher die beiden Seiten auf jeder Seite der optischen Achse äquivalent sind für die Lage der Punktquellen.

Nachdem verschiedene fundamentale Prinzipien, unter denen die Erfindung arbeitet, beschrieben wurden, wird nunmehr im einzelnen auf die Vorrichtung gemäß Fig. 5 Bezug genommen.

Fig. 5 ist eine schematische Ansicht eines Ausführungsbeispiels der Erfindung, und diese ist allgemein als System 10 angegeben. Das System 10 umfaßt eine Lichtquelle S, eine Punktquelle, beispielsweise einen Laser, eine Kollimatoroptik und eine Abbildungsoptik, bestehend aus Kollimatorlinse 20 und einem Objektiv oder einer Okularlinse 40, einem CCD- oder einem anderen äquivalenten Detektor 50 und einem Fizeau-Interferometer 30, wo die Gegenstandspunkte A und B auf einer Testoberfläche in Bildpunkten A' und B' auf dem Detektor 50 abgebildet werden. A und B sind auf einer Testoberflächenebene T angeordnet, und A' und B' liegen in der CCD-Detektorebene. Die obere und die untere Skizze gemäß Fig. 5 zeigen die Lichtquelle 5 in unterschiedlichen Lagen, wobei beide Lagen insgesamt gegenüber der optischen Achse OA versetzt sind. In der oberen Skizze ist die Lichtquelle S von der optischen Achse in eine Stellung unter der optischen Achse verschoben, und in der unteren Skizze ist sie um den gleichen Betrag, aber über der optischen Achse, verschoben. Die OPD ist in beiden Fällen gleich bei den unterschiedlichen Gegenstandspunkten A und B, die die gleiche OPD haben, und zwar aus den oben angegebenen Gründen. Das die Testoberfläche T bestrahlende Licht wird ausgerichtet, und das reflektierte Licht zwischen der Kollimatorlinse 20 und der Objektivlinse 40 wird ebenfalls ausgerichtet. Dabei ist zu bemerken, daß bei dieser Art der Abbildung, obgleich nur die Mittelpunktstrahlen (schräge Strahlen) dargestellt sind, alle Strahlen zu einem Bildpunkt beitragen, der die gleiche optische Pfadlänge zwischen dem Objektpunkt und dem Bildpunkt aufweist. Im Falle eines afokalen Systems haben selbst die optischen Pfadlängen zwischen unterschiedlichen Objektpunkten in der gleichen Objektebene gleiche Pfadlängen.

Aus der Betrachtung der Fig. 5 ergibt sich, daß die notwendige Kompensation unabhängig von dem Vorzeichen von y ist, wo am oberen Teil von Fig. 5 die Lage für die Punktquelle unter der optischen Achse liegt und im unteren Teil von Fig. 5 die Lage der Punktquelle S über der optischen Achse liegt. In beiden Fällen ist die OPD im Interferometer die gleiche.

Eine weitere wichtige Tatsache, die sich aus dem oberen Teil von Fig. 5 ergeben sollte, besteht darin, daß die beiden Oberflächen, welche das Fizeau-Interferometer 30 bilden, exakt parallel sind, wenn keine "Streifen" auf der CCD-Kamera erscheinen. Zwei Punkte A und B werden im oberen Teil von Fig. 5 betrachtet, und beide haben exakt den gleichen OPD. In anderen Worten ausgedrückt: Die OPDs ändern sich nicht, wenn der Punkt B in die Lage von Punkt A verschoben wird. Daher liegen beide auf dem "gleichen Interferenzstreifen", der in diesem Falle

unendlich breit ist. Dasselbe trifft zu für die andere Koordinate x , die in Fig. 5 nicht dargestellt ist. Dies kann abgeleitet werden, indem man berücksichtigt, daß die ebene Wellenfront, die auf das Interferometer auftrifft, senkrecht zur Oberfläche des Interferometers steht und daher jeder Punkt "über" A (über der Ebene der Skizze) oder unter A die gleiche OPD wie A hat. Daher gilt, was für den Punkt A gilt, auch für die gesamte Oberfläche von T. Es ist nunmehr klar, daß die Lage der Punktquelle S einen Kreis mit dem Radius $r = |y|$ beschreiben kann, ohne daß sich die OPD des Interferometers als Ganzes ändert. Jede dieser Stellen trägt zu dem gleichen stationären Interferenzmuster in kohärenter, aber konstruktiver Weise bei. Deshalb können all diese Muster auf einem CCD-Chip während der Belichtungszeit eines Bildes gesammelt werden, ohne daß der Interferenzkontrast vermindert wird, oder sie können durch Kombination einer Reihe von Bildern integriert werden, indem sie auf einem Zusatzpuffer oder dergleichen gespeichert werden.

Gemäß dem Vorstehenden wurden Mittel vorgesehen, um Strahlung auf ein zu überprüfendes Objekt in einem Interferometer von unterschiedlichen Stellen auszurichten, die im Abstand von der optischen Achse derart liegen, daß die Strahlung von diesen Stellen auf den gleichen Punkten des Gegenstandes längs der optischen Achse einfällt, die im wesentlichen identische optische Pfaddifferenzen im Interferometer aufweisen, um Interferenzwellenfronten zu erzeugen; die Strahlung von jeder Stelle, die optische Interferenzstrahlen erzeugt, in denen die Eigenschaften des interessierenden Objekts, z.B. die Wellenfront, die zurückgeworfen wird oder ihre Topographie dekodiert wird als im wesentlichen identische Phaseninformation, während die Feldposition der Phaseninformation, die den Bildfehlern entspricht, sich ändert wegen der unterschiedlichen Parallaxen-Perspektiven von jeder der unterschiedlichen Stellen.

Stattdessen kann eine ausgedehnte statische ringförmige Quelle benutzt werden. In diesem Fall addieren sich die "individuellen" Interferenzmuster eines jeden von Millionen Punkten, die die ausgedehnte Quelle bilden, kohärent zusammen, aber wiederum in konstruktiver Weise. Außerdem kann, wie ersichtlich, eine rotierende Punktquelle oder eine seitlich verschobene Quelle ("dynamisch") benutzt werden. Um eine Ringquelle zu bilden, kann von einer Punktquelle Gebrauch gemacht werden in Verbindung mit einem optischen Bulkaxicon oder seinem Beugungsäquivalent. Es können auch Kombinationen derartiger Quellen vorteilhaft benutzt werden.

Fig. 5 zeigt, daß für unterschiedliche Stellen der Punktquelle S der gesamte Verlauf der Strahlen durch das optische System unterschiedlich ist. Dies ist genau der gewünschte Effekt, da dies die Möglichkeit ist, die kohärenten Bildfehler durch wirksame Benutzung einer ausgedehnten Apertur zu vermeiden. Diese Eigenschaft hält zusammen mit verschiedenen anderen Geräten und Verfahren, die zu beschreiben sind, die räumliche Kohärenz mit einer einzigen ringförmigen Quelle einer rotierenden Punktquelle oder einer seitlich verschobenen Quelle mit geeigneter Kompensation für die Veränderung von OPD aufrecht, und zwar entweder durch Veränderung der Interferometerlänge L oder der Wellenlänge λ oder durch Veränderung von beiden, wodurch ein Interferometer mit ungleichem Pfad geschaffen wird, beispielsweise ein Fizeau-Interferometer mit einer hohen Bildqualität für sehr feine Objekteinzelheiten sowie eine sehr gute Auflösung von sehr kleinen Oberflächenhöhen-Änderungen, die mit Interferometern gleicher Pfadlänge, beispielsweise einem Michelson- oder einem Mirau-Interferometer, erreichbar sind.

Bis hierher wurde nur die Unterdrückung von kohärenten Störungen diskutiert. Es ist jedoch auch durch Änderung des Abstandes y des Punktes S und durch gleichzeitige Einstellung der OPD möglich, die Interferenz von einer unerwünschten dritten Oberfläche innerhalb eines "Doppel"-Fizeau-Interferometers zu unterdrücken. Dies wird in Verbindung mit Fig. 6 diskutiert.

Fig. 6 ist eine schematische Ansicht eines Ausführungsbeispiels der Erfindung, das allgemein als System 100 bezeichnet wird. Allgemein gesehen ist das System 100 ein Fizeau-Interferometer, das ein PZT, einen drehbaren Strahlteiler und einen sich drehenden Keil benutzt, die gemeinsam als Doppelphasen-Verschiebungsmittel und als "virtuell ausgedehnte Quelle" bei der Messung einer transparenten planparallelen Platte wirken. Die zu messende transparente Platte ist bei 102 dargestellt, und sie weist eine Bezugsoberfläche bei 104 auf. Eine Quelle 106 durchläuft einen rotierenden Keil 108, um auf einem drehbaren Strahlteiler 112 und danach auf der Platte 102 über eine Bilderzeugungsoptik abgebildet zu werden, die eine konvergierende Linse 110 und eine Kollimatorlinse 118 aufweist. Eine bekannte Drehvorrichtung 114 ist verantwortlich für ein selektives Drehen des Strahlteilers 112 unter der Steuerung eines Computers 124. Die reflektierten Lichtstrahlen von der Bezugsoberfläche 104 und der Testoberfläche 102 werden auf einem geeigneten Sensor 122 über eine Kollimatorlinse 118 und ein Objektiv oder eine Okularlinse 120 abgebildet. Der Ausgang des Sensors 122 wird dem Computer 124 zugeführt, um

eine bekannte Phasenanalyse und danach eine numerische Analyse mit irgendeiner Bildverarbeitungsfordernung durchzuführen, und um eine Darstellung zu bewirken oder für metrologische Zwecke. Der Computer 124 steuert auch einen Motor 109, der mit dem Keil 108 verbunden ist, um diesen selektiv zu drehen, und er ist auch mit einem PZT 126 verbunden, der selektiv eine Bezugsoberfläche 104 antreibt, um diese längs der optischen Achse OA zu modulieren.

Wie dargestellt, beeinflussen sich drei kohärente Wellen in dem System 100. Die erste Welle ist der Anteil der Beleuchtungsebenenwelle, die von der Bezugsoberfläche 104 reflektiert wird. Die zweite Welle ist jener Teil, der von der Vorderseite der transparenten Platte 102 reflektiert wird, und die dritte Welle ist jener Teil, der von der Rückseite der transparenten Platte 102 reflektiert wird. Weil sowohl die Vorderseite als auch die Rückseite zu jedem Zeitpunkt gemessen werden müssen, bewirkt das Vorhandensein der verbleibenden Reflexion eine Störung, und in diesem speziellen Fall ist die Störung von der gleichen Größenordnung wie die gewünschte Welle. Der Einfluß dieser unerwünschten dritten Welle kann dadurch ausgelöscht werden, daß zwei unabhängige Phasenverschiebungen eingeführt werden, die die Komponenten des Systems 100 benutzen. Da bei einer massiven planparallelen Platte keine Möglichkeit besteht, die relative Phase der beiden Reflexionen auf der Vorder- und Rückseite durch physikalische Bewegung einer der beiden Oberflächen gegenüber der anderen zu ändern, kann eine Änderung der beleuchtenden Wellenlänge das notwendige Ausmaß von Freiheit liefern, die benötigt wird, um zwischen den Reflexionen der endgültig gemessenen Phasenaufzeichnung zu unterscheiden. Das Gleiche ist hier möglich, aber die Änderung in der Wellenlänge wird nunmehr ersetzt mit einer Änderung des Anstellwinkels α der ebenen Welle, die das Fizeau-"Doppel"-Interferometer beleuchtet.

Nunmehr wird auf Fig. 3 Bezug genommen, wo gezeigt ist, daß der Anstellwinkel eine Änderung im OPD einer massiven Glasplatte mit der Dicke L und einem Brechungsindex von n liefert:

$$OPD = 2L\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} . \quad (12)$$

Für eine Glasplatte von beispielsweise $L = 5 \text{ mm}$ mit einem Brechungsindex von $n = 1,5$ muß α die folgenden Tabellenwerte für benachbarte Änderungen von OPD von $\lambda/2$ ($\lambda = 633 \text{ nm}$) einnehmen:

	$0 * \lambda/2$	$1 * \lambda/2$	$2 * \lambda/2$	$3 * \lambda/2$	$4 * \lambda/2$	$5 * \lambda/2$	$6 * \lambda/2$
$\alpha [^\circ]$	0.000	0.558	0.790	0.967	1.117	1.248	1.368
$y [\text{mm}]$	0.000	4.872	6.890	8.439	9.745	10.895	11.935

Die letzte Zeile in der Tabelle zeigt die seitliche Verschiebung der Punktquelle gegenüber der optischen Achse, die erforderlich wäre, wenn eine Kollimatorlinse mit einer Brennweite von 500 mm benutzt wird.

Eine Änderung des Anstellwinkels kann in dem System 100 leicht bewerkstelligt werden, indem der Winkel des Strahlteilers 112 in Fig. 6 geändert wird. Der Strahlteiler 112 ist auf einer Drehvorrichtung 114 gelagert, die vom Computer 124 gesteuert wird und auch die Detektorbilder für die Messung akquiriert. Die zweite unabhängige Phasenverschiebung, die für eine vollständige Steuerung im allgemeinen Fall notwendig ist, wird durch die übliche PZT-Vorrichtung 126 bewirkt, die die Bezugsoberfläche 104 längs der optischen Achse OA verschiebt.

Dieses Beispiel demonstriert, daß in zahlreichen Fällen die Erfindung die Anwendung einer abstimmbaren Lichtquelle ersetzt. In Fig. 6 ist zusätzlich zu dem drehbaren Strahlteiler 112 ein rotierender Glaskeil 108 vorgesehen. Der Keil 108 kann mit dem Strahlteiler 112 benutzt werden, um die kohärenten Störungen, wie oben beschrieben, weiter zu vermindern. In diesem Fall können die virtuellen Orbits der Lichtquelle um die optische Achse Ellipsen beschreiben, deren eine Achse durch den Keilwinkel bestimmt und fixiert ist, während die andere Achse der Ellipse durch die Winkelbewegung des Strahlteilers 112 definiert ist und so gesteuert werden kann, daß die Notwendigkeiten zur Unterdrückung des unerwünschten Einflusses einer der Oberflächen der parallelen Platte erfüllt werden.

Eine weitere sehr vorteilhafte Lösung ist die Benutzung von zwei Keilen in Folge, wie in Fig. 7A dargestellt, worin eine Ansicht eines weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiels dargestellt ist, welches als System 200 bezeichnet wird. Bei dem System 200 beschreiben zwei in Reihe liegende Keile, die durch eine spezielle

Elektronik oder durch einen Computer gesteuert werden, mehrere Muster in der Brennebene der Linse, d.h. Kreise mit unterschiedlichem Durchmesser, Ellipsen mit unterschiedlicher kleiner und großer Achse und Linien unterschiedlicher Orientierung, und diese Muster können synchron zueinander gesteuert und auch mit Kamerabildern synchronisiert werden, während gleichzeitig ihre Winkelphasen-Beziehung ebenfalls unter der Steuerung des Computers 216 geändert werden kann.

Wie aus Fig. 7A ersichtlich, weist das System 200 ein in bekannter Weise erzeugtes Lichtbündel 202 und zwei in Reihe liegende drehbare Keile 204 und 206 auf, die jeweils durch Motoren 212 bzw. 214 unter der Steuerung eines Computers 216 oder durch eine andere geeignete Elektronik gesteuert werden. Das Lichtbündel 202 wird selektiv durch die Keile 204 und 206 gemäß ihrer Relativstellung und gemäß der Winkelgeschwindigkeit der Drehung abgeleitet und dann auf einer Brennebene 210 über ein nur schematisch dargestelltes Linsensystem 208 fokussiert. Das Bild des Lichtbündels 202 in der Brennebene 210 kann nunmehr als ausgedehnte Interferometerquelle benutzt werden, um Bildfehler zu unterdrücken, während das Signal/Rausch-Verhältnis des Interferogramms verbessert wird.

Wenn die Keile 204 und 206 den gleichen Keilwinkel aufweisen, dann können sie so eingestellt werden, daß ihre Wirkung sich gegenseitig auslöscht, d.h. der fokussierte Punkt bleibt auf der optischen Achse, während die Keile sich synchron drehen. Wenn die Keile um 180° versetzt zueinander gedreht werden, dann addieren sich ihre Wirkungen und der Punkt beschreibt einen Kreis mit einem maximalen Radius. Zwischenstellungen der Relativdrehung der Keile 104 und 106 können jeden Radius r zwischen 0 und r_{\max} einstellen. Genau definiert werden diskrete Radian benötigt für das Auslöschen einer Welle und um gleichzeitig die kohärente Störung zu vermindern. Es ist auch klar, daß Paare reflektierender Abtastspiegel benutzt werden können, die um senkrecht zueinander stehenden Achsen drehbar in dem System 200 gelagert sind, um den gleichen Zweck durchzuführen oder in dem System 100 gemäß Fig. 6 für ähnliche Zwecke. Auf die beschriebene Weise wird eine Phasenverschiebung dadurch bewirkt, daß die Phase der Drehung der Motoren 212 und 214 relativ zueinander eingestellt wird.

Fig. 7B ist ein Ausführungsbeispiel, bei dem zwei hintereinander geschaltete Spiegel benutzt werden, durch die eine Phasenverschiebung bewerkstelligt werden kann, indem die Phase der Drehung der Motoren geändert wird, auf denen die Spiegel

gelagert sind. Demgemäß werden die Spiegel 205 und 209 drehbar von Motoren 207 bzw. 211 getragen. Die Oberflächen der Spiegel 205 und 209 sind so angeordnet, daß sie nicht senkrecht zur optischen Achse stehen (Spiegel"keile"). Demgemäß folgt der ankommende Strahl 203 einem konusartigen Ausgang wie im Falle der Keile oben, und es besteht eine Abhängigkeit der relativen Phase der Motoren 207 und 209. Dieser Effekt kann durch die beiden hintereinander geschalteten Spiegel ausgelöscht oder addiert werden, so daß diese Spiegel völlig äquivalent den Keilen bezüglich der Übertragung sind.

Es ist nicht notwendig, eine genaue Punktquelle im Falle der Abtastung zu benutzen, da bessere Ergebnisse erlangt werden können, wenn ein kleiner Punkt ähnlich einer Multimodefaser oder ein konvergenter oder divergenter Strahl benutzt wird, der nicht scharf fokussiert ist und auf ein rotierendes geschliffenes Glas auftrifft.

Zur Realisierung einer ausgedehnten ringförmigen Lichtquelle kann ein konvergenter Strahl, der durch ein Axicon oder ein Beugungsäquivalent hindurchtritt, eine elegante Lösung bilden, wie dies bereits erwähnt wurde. Wenn das Axicon oder das Beugungsäquivalent axial verschoben wird, dann wird der Durchmesser des Rings verändert.

Eine andere Lösung besteht darin, ein Faserbündel zu benutzen, welches eine kreisförmige Eingangsseite, aber eine ringförmige Ausgangsseite besitzt. Eine Multimodefaser, die richtig durch eine Eintrittsquelle erregt wird, kann benutzt werden, um eine Ringquelle oder eine Ringquelle variablen Radius zu erzeugen. Für so eine Anordnung kann auf Fig. 8 Bezug genommen werden, wo eine Multimodefaser 400 dargestellt ist, die durch eine Laserquelle 402 erregt wird, die auf die Eintrittsfacette der Faser über ein Linsensystem 404 abgebildet wird. Das Linsensystem 404 kann so ausgebildet sein, daß der Eintrittswinkel gesteuert und die numerische Apertur der Multimodefaser 400 derart angepaßt wird, daß in bekannter Weise eine derartige Erregung erfolgt, daß ein Beleuchtungsring 406 erzeugt wird, der danach durch eine Folgeoptik 408 weiter gesteuert wird, um beispielsweise einen Kollimatorring 410 zu erzeugen. Der Durchmesser des Rings 406 kann selektiv dadurch geändert werden, daß beispielsweise die Bedingungen geändert werden, unter denen der Laserstrahl in die Multimodefaser 400 eintritt.

Die Geometrie des oben beschriebenen Interferometers kann leicht so geändert

werden, daß sphärische Oberflächen gebildet werden, und die Linsen können in geeigneter Weise so ausgebildet werden, daß sie verantwortlich werden für die Steuerung der Gestalt der ankommenden Wellenfront, die auf das Objekt und die Bezugsflächen auftrifft.

Nachdem die verschiedenen Strukturen zur Erzeugung der erfindungsgemäßen dünnen und virtuellen Ringe beschrieben wurden, die ihren Radius dynamisch ändern können, und zwar entweder kontinuierlich oder in Stufenform, wird es nützlich sein, den Bereich möglicher Quellenkonfigurationen zu betrachten, indem nunmehr auf die Fig. 9 und die folgende Tabelle Bezug genommen wird.

TABELLE	
Einfachring	Mehrfachringe
Fester Radius (Fig. 9a)	Fester Radius (Fig. 9c)
Variabler Radius (Fig. 9b)	Variabler Radius (Fig. 9d)

Für den Fachmann ist es klar, daß Mehrfachringe und nicht nur Doppelringe benutzt werden können. Außerdem ist es klar, daß die Dicke eines dünnen Rings, ob virtuell oder solid, leicht durch Benutzung der Gleichung (1a) und durch Berechnung bestimmt werden kann, wenn die Phasenverschiebung zwischen dem inneren und äußeren Durchmesser des Rings 180° überschreitet, was zu einer destruktiven Interferenz führen würde. Infolgedessen sollte die Dicke so gewählt werden, daß diese Phasenverschiebung geringer als 180° ist, und zwar um einen Betrag, der in Übereinstimmung ist mit den Kontrasterfordernissen der durchgeführten Messungen. Der Nenndurchmesser des kleinsten Rings kann empirisch bestimmt werden und hängt im allgemeinen von der Wellenlänge, der Länge des Interferometers und der Nähe der Quelle des Bildfehlers gegenüber der Testoberfläche ab. Allgemein gilt: je näher die Bildfehlerquelle an der interessierenden Testoberfläche liegt, desto größer wird der Quelldurchmesser, der benötigt wird, um Bildfehler zu unterdrücken. Wenn zwei oder mehrere Ringe benutzt werden, um abwechselnd den Kontrast an unterschiedlichen Axialstellungen auszulöschen und zu maximieren, dann sollte der Ringdurchmesser allgemein so

gewählt werden, daß die Phasendifferenz bei hohem gewünschtem Kontrast klein wird, und wenn ein niedriger Kontrast gewünscht ist, 180° beträgt.

Aus Versuchen mit Ringdurchmessern von 0,25 mm bis 1 mm hat es sich als zweckmäßig erwiesen, die typischen Bildfehler prinzipiell aus der Nähe des Strahlteilers in einem Breitband-Interferometer zu unterdrücken, das auf dem GPI-Produkt von Zygo Corporation, Middlefield, CT, US basierte. Aus diesen Ergebnissen ergab sich ein repräsentativer Ringdurchmesser von 1 mm als zweckmäßig, da dieser Durchmesser keinen Einfluß auf die Ausbildung kommerzieller Kollimatorausbildungen hatte, die in einem Breitband benutzt werden.

In bezug auf die Ringdicke kann die Gleichung (1a) für das OPD benutzt werden, um die maximal zulässige Dicke zu berechnen, wie dies bereits erwähnt wurde, wobei:

$$\Delta \approx 2\sqrt{L^2 + \left(\frac{d}{2f}L\right)^2} - 2L \approx \frac{L}{4}\left(\frac{d}{f}\right)^2 \quad (1a)$$

Um die Dicke t derart zu ermitteln, daß die Differenz zwischen innerem und äußerem Durchmesser eine OPD-Differenz von $\lambda/2$ erzeugt, kann die folgende Formel Anwendung finden:

$$\frac{L}{4}\left(\frac{d+t}{f}\right)^2 - \frac{L}{4}\left(\frac{d}{f}\right)^2 \leq \frac{\lambda}{2}$$

Indem nach t aufgelöst wird, erhält man

$$t = \frac{\lambda f^2}{Ld}$$

Unter Benutzung einer GPI-Brennweite von 500 mm und unter Annahme einer Wellenlänge von 600 nm und einer maximalen praktischen Interferometerlänge von 3 m ergab sich eine Dicke von etwa 50 Mikrometer aus der vorhergehenden Analyse. Dabei ist zu berücksichtigen, daß dies eine seitliche Mißausrichtungstoleranz der halben Dicke von etwa 25 Mikrometer einschloß.

Die Erfindung ist nicht beschränkt auf die Benutzung eines Fizeau-Interferometers,

sondern kann bei allen anderen Bauarten von Interferometern Anwendung finden, einschließlich, aber nicht beschränkt, auf Typen mit ungleichem Pfad, beispielsweise Interferometer der Type Mirau und Twyman-Green. Das der Erfindung zugrundeliegende Prinzip kann in gleicher Weise zur Überprüfung von Kugeln Anwendung finden. Außerdem kann ein Strahlsteuerspiegel oder es können mehrere Strahlsteuerspiegel durch Galvanometer oder dergleichen anstelle von rotierenden Keilen Anwendung finden.

Weitere Änderungen ergeben sich für den Fachmann von selbst aufgrund der Lehren und Ausführungsbeispiele der beschriebenen Erfindung, und Änderungen sollen im Rahmen der Ansprüche mit umfaßt werden.

Patentansprüche:

5

1. Vorrichtung zur Beleuchtung eines zu prüfenden Objektes in einem Interferometer, das eine optische Achse aufweist, wobei die Vorrichtung folgende Teile umfaßt:

10

wenigstens eine Strahlungsquelle; und

15

Mittel, die die Strahlung von der Strahlungsquelle auf das Objekt von verschiedenen Stellen aus richten, die von der optischen Achse derart entfernt liegen, daß die Strahlung von diesen Stellen auf die gleichen Punkte auf dem Objekt längs optischer Pfade auftrifft, die im wesentlichen identische optische Pfaddifferenzen innerhalb des Interferometers haben.

20

2. Beleuchtungsvorrichtung nach Anspruch 1, bei welcher die zwei von der optischen Achse entfernt liegenden Stellen, von denen die Strahlung auf das Objekt gerichtet wird, einen gleichen Abstand von der optischen Achse aufweisen.

25

3. Beleuchtungsvorrichtung nach Anspruch 2, bei welcher die beiden im gleichen Abstand angeordneten Stellen in einer Ebene liegen, die im wesentlichen senkrecht auf der optischen Achse steht.

30

4. Beleuchtungsvorrichtung nach Anspruch 1, bei welcher die Strahlung von jeder der beiden Stellen auf das Objekt im wesentlichen gleichzeitig gerichtet wird.

35

5. Beleuchtungsvorrichtung nach Anspruch 1, bei welcher die Strahlung von jeder der beiden Stellen auf das Objekt zu unterschiedlichen Zeiten während einer vorbestimmten Zeitperiode gerichtet wird.

6. Beleuchtungsvorrichtung nach Anspruch 5, welche außerdem einen Detektor mit einer Erfäßperiode aufweist und bei welcher die vorbestimmte Zeitperiode nicht größer ist als die Erfäßperiode des Detektors.

7. Beleuchtungsvorrichtung nach Anspruch 1, bei welcher die Quelle zur Erzeugung der Strahlung eine Punktquelle ist und bei welcher die Strahlungsrichtmittel eine Anordnung umfassen, mit der die Punktquelle um die optische Achse mit einer vorbestimmten Rate derart gedreht wird, daß die von der Punktquelle ausgehende Strahlung von den beiden unterschiedlichen Stellen auszugehen scheint.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, bei welcher die Strahlungsrichtmittel wenigstens einen sich drehenden Keil umfassen.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7, bei welcher die Strahlungsrichtmittel zwei in Reihe geschaltete rotierende Keile aufweisen.

10. Vorrichtung nach Anspruch 7, bei welcher die Strahlungsrichtmittel einen in einem Azimuth drehbar gelagerten Strahlteiler und einen Keil aufweisen, der in einem weiteren Azimuth drehbar gelagert ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 7, bei welcher die Strahlungsrichtmittel hintereinander angeordnete Spiegel aufweisen, wobei der eine Spiegel im Azimuth drehbar gelagert ist und der andere Spiegel in der Höhe drehbar gelagert ist.

12. Beleuchtungsmittel nach Anspruch 1, bei welchen die Strahlungsrichtmittel optische Komponenten aufweisen, die so strukturiert sind, daß selektiv die Quelle an unterschiedlichen entfernten Stellen um die optische Achse zu verschiedenen Zeiten abgebildet wird.

13. Beleuchtungsvorrichtung nach Anspruch 1, bei welcher die Strahlungsrichtmittel wenigstens eine optische Komponente aufweisen, um Strahlung von der Quelle zu empfangen und um wenigstens einen dünnen Beleuchtungsring zu erzeugen, von dem sämtliche Punkte von der optischen Achse entfernt liegen, derart, daß die beiden Stellen durch den dünnen Ring umschlossen werden.

14. Beleuchtungsvorrichtung nach Anspruch 13, bei welcher die Strahlungsrichtmittel derart strukturiert sind, daß selektiv der Abstand geändert wird, mit dem die Punkte von der optischen Achse entfernt liegen.

15. Vorrichtung nach Anspruch 13, bei welcher die Ringquelle eine Multimodefaser mit kreisförmigem Querschnitt aufweist, die von der Quelle derart erregt wird, daß das Eintrittsmodalmuster vom Ausgangsende der Multimodefaser die Form eines Kreisringes hat.

16. Vorrichtung nach Anspruch 13, bei welcher die Quelle eine Punktquelle ist und bei welcher die dünne Ringquelle die Punktquelle und ein Axicon aufweist.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, bei welcher das Axicon ein Beugungselement bzw. ein Brechungselement ist.

18. Interferometrisches Gerät mit einer optischen Achse, wobei das interferometrische Gerät die folgenden Teile aufweist:

Mittel zur Anordnung eines zu messenden Objektes längs der optischen Achse;

eine optische Anordnung, die wenigstens teilweise mit einem Objekt zusammenwirkt, um ein Interferometer zu bilden und die Erzeugung einer interferometrischen Wellenfront bewirkt, in der eine Phaseninformation über das Objekt verschlüsselt ist; und

Mittel, mit der die Strahlung auf das zu messende Objekt von wenigstens zwei unterschiedlichen Stellen aus gerichtet wird, die von der optischen Achse derart entfernt liegen, daß die Strahlung von den Stellen auf den gleichen Punkten des Objekts längs der optischen Achse auftrifft, die im wesentlichen eine identische optische Pfaddifferenz innerhalb des Interferometers aufweisen, um Interferenz-Wellenfronten zu erzeugen, die den beiden Stellen entsprechen, wobei jede Wellenfront im wesentlichen identische Phaseninformation über das Objekt vom Interferometer enthält.

19. Interferometrisches Gerät nach Anspruch 18, bei welchem die beiden entfernten Stellen, von denen die Strahlung auf ein Objekt gerichtet wird, von der optischen Achse gleich weit entfernt sind.

20. Interferometrisches Gerät nach Anspruch 19, bei welchem die beiden gleich

weit von der Achse entfernten Stellen in einer Ebene im wesentlichen senkrecht zur optischen Achse liegen.

21. Interferometrisches Gerät nach Anspruch 18, welches weiter Mittel umfaßt, um die Interferenz-Wellenformen so abzubilden, daß ein interferogrammetrisches Bild erzeugt wird, in dem die Phaseninformation über das Objekt, das in jeder Interferenz-Wellenfront vom Interferometer enthalten ist, kombiniert wird, um die Signalpegel zu verbessern, während die Phaseninformation von Quellen unterdrückt wird, die nicht vom Objekt herrühren und die sonst in dem interferogrammetrischen Bild als Bildfehler enthalten sind.

22. Vorrichtung nach Anspruch 21, welche außerdem Mittel aufweist, um das interferogrammetrische Bild zu analysieren, um die gewählten Charakteristiken des Objektes zu bestimmen.

23. Vorrichtung nach Anspruch 21, bei welcher die Mittel zur Richtung der Strahlung auf das zu messende Objekt eine Punktquelle umfassen, die um die optische Achse herum beweglich gelagert ist.

24. Vorrichtung nach Anspruch 18, bei welcher die Mittel zur Richtung der Strahlung auf das zu messende Objekt wenigstens eine dünne Ringquelle aufweisen, die einen konstanten Nennradius besitzt und nominell auf der optischen Achse zentriert ist.

25. Vorrichtung nach Anspruch 24, bei welcher die Ringquelle eine Multimodefaser mit kreisförmigem Querschnitt umfaßt, die durch eine Pumpquelle derart erregt wird, daß das austretende Modalmuster vom Ausgangsende der Multimodefaser die Form eines Kreisinges hat, der die dünne Ringquelle bildet.

26. Vorrichtung nach Anspruch 24, bei welcher die dünne Ringquelle eine Punktquelle und ein Axicon umfaßt.

27. Vorrichtung nach Anspruch 26, bei welcher das Axicon ein Beugungselement bzw. ein Brechungselement ist.

28. Vorrichtung nach Anspruch 18, bei welcher die Mittel zur Richtung der Strahlung auf das zu messende Objekt eine Punktquelle und Mittel umfassen, um

selektiv die Punktquelle rings um die optische Achse derart abzubilden, daß es scheint, als ob das Licht von den unterschiedlichen Stellen herrührt, die im Abstand zur optischen Achse angeordnet sind.

5 29. Vorrichtung nach Anspruch 28, bei welcher die Mittel zur selektiven Abbildung der Punktquelle wenigstens einen drehbaren Keil umfassen.

10 30. Vorrichtung nach Anspruch 28, bei welcher die Mittel zur selektiven Abbildung der Punktquelle zwei hintereinander angeordnete rotierende Keile aufweisen.

15 31. Vorrichtung nach Anspruch 28, bei welcher die Mittel zur selektiven Abbildung der Punktquelle einen Strahlteiler umfassen, der drehbar in einem Azimuth angeordnet ist und außerdem ein Keil vorgesehen ist, der drehbar in einem weiteren Azimuth gelagert ist.

20 32. Vorrichtung nach Anspruch 26, bei welcher die Mittel zur selektiven Abbildung der Punktquelle hintereinander angeordnete Spiegel umfassen, von denen der eine drehbar im Azimuth und der andere drehbar in der Höhe angeordnet ist.

25 33. Vorrichtung nach Anspruch 21, bei welcher außerdem Mittel vorgesehen sind, um eine Phasenverschiebungs-interferometrische Analyse der gewählten Charakteristik des Objektes zu bewirken.

34. Vorrichtung nach Anspruch 18, bei welcher die Mittel zur Richtung der Strahlung auf das zu messende Objekt eine Kollimation der Strahlung bewirken.

30 35. Vorrichtung nach Anspruch 21, bei welcher die Mittel zur Abbildung der optischen interferometrischen Strahlen zur Erzeugung eines interferogrammetrischen Bildes Kollimatorlinsen und Konvergenzlinsen aufweisen.

35 36. Vorrichtung nach Anspruch 21, welche außerdem einen Detektor aufweist, um das interferogrammetrische Bild zu empfangen, um ein elektronisches Ausgangssignal für die folgende Analyse zu erzeugen, wobei der Detektor eine gegebene Abtastrate aufweist.

37. Vorrichtung nach Anspruch 36, bei welcher das interferogrammetrische Bild während einer vorbestimmten Zeitperiode erzeugt wird, die nicht länger dauert als die gegebene Abtastrate des Detektors.

5 38. Vorrichtung nach Anspruch 36, bei welcher die vorbestimmte Zeitperiode im wesentlichen Null ist, so daß das zu messende Objekt die Strahlung von den wenigstens zwei Stellen im wesentlichen gleichzeitig empfängt.

10 39. Beleuchtungsverfahren zur Benutzung in Verbindung mit einem Interferometer, das eine optische Achse aufweist, wobei das Beleuchtungsverfahren die folgenden Schritte umfaßt:

es wird eine Strahlung von wenigstens einer Quelle erzeugt; und

15 es wird die Strahlung von der wenigstens einen Quelle auf ein zu messendes Objekt von wenigstens zwei unterschiedlichen Stellen aus gerichtet, die im Abstand zur optischen Achse angeordnet sind, derart, daß die Strahlung von diesen Stellen auf gleiche Punkte des Objektes längs optischer Pfade auftrifft, die eine im wesentlichen identische optische Pfaddifferenz innerhalb des Interferometers aufweisen.

20

40. Beleuchtungsverfahren nach Anspruch 39, bei welchem die beiden entfernt liegenden Stellen, von denen die Strahlung auf ein Objekt gerichtet wird, im gleichen Abstand zu der optischen Achse entfernt liegen.

25 41. Beleuchtungsverfahren nach Anspruch 40, bei welchem die beiden im gleichen Abstand angeordneten Stellen in einer Ebene liegen, die im wesentlichen senkrecht auf der optischen Achse steht.

30 42. Beleuchtungsverfahren nach Anspruch 39, bei welchem die Strahlung von jeder der beiden Stellen auf ein Objekt im wesentlichen gleichzeitig gerichtet wird.

35 43. Beleuchtungsverfahren nach Anspruch 39, bei welchem die Strahlung von den beiden Stellen auf das Objekt zu unterschiedlichen Zeiten während einer vorbestimmten Zeitperiode gerichtet wird.

44. Beleuchtungsverfahren nach Anspruch 43, welches weiter den Schritt

umfaßt, Strahlung vom Objekt während einer Erfassperiode zu detektieren, wobei die vorbestimmte Zeitperiode nicht länger ist als die Erfassperiode.

- 5 45. Beleuchtungsverfahren nach Anspruch 39, welches außerdem den Schritt aufweist, eine Strahlung von einer Punktquelle zu erzeugen und diese Strahlung von der Punktquelle durch Drehen der Punktquelle um die optische Achse mit einer vorbestimmten Rate derart zu richten, daß die Punktquelle von den beiden unterschiedlichen Stellen aus auszugehen scheint.
- 10 46. Beleuchtungsverfahren nach Anspruch 39, bei welchem die Strahlung dadurch gerichtet wird, daß selektiv die Quelle an unterschiedlich von der optischen Achse entfernt liegenden Stellen zu unterschiedlichen Zeiten abgebildet wird.
- 15 47. Beleuchtungsverfahren nach Anspruch 39, bei welchem der Schritt, in welchem die Strahlung gerichtet wird, einen Empfang der Strahlung von der Quelle und die Erzeugung wenigstens eines dünnen Beleuchtungsringes aller Punkte umfaßt, die in einem solchen Abstand von der optischen Achse liegen, daß die beiden Stellen von diesem dünnen Ring umschlossen sind.
- 20 48. Beleuchtungsverfahren nach Anspruch 47, welches weiter den Schritt umfaßt, selektiv den Abstand zu ändern, unter dem die Punkte von der optischen Achse entfernt liegen.
49. Interferometrisches Verfahren, welches die folgenden Schritte umfaßt:
- es wird ein zu messendes Objekt längs einer optischen Achse angeordnet;
- es werden optische Komponenten derart vorgesehen, daß sie wenigstens teilweise mit einem Objekt zusammenwirken, um ein Interferometer zu bilden und
- 30 die Erzeugung von Interferenz-Wellenfronten zu ermöglichen, in denen eine Phaseninformation über das Objekt verschlüsselt ist; und
- es wird die Strahlung auf das zu messende Objekt von wenigstens zwei verschiedenen Stellen aus gerichtet, die im Abstand von der optischen Achse derart
- 35 angeordnet sind, daß die Strahlung von den Stellen auf die gleichen Punkte auf dem Objekt längs der optischen Pfade einfällt, die im wesentlichen die identischen

optischen Pfaddifferenzen innerhalb des Interferometers aufweisen, um Interferenz-Wellenfronten zu erzeugen, die jeder Stelle entsprechen, wobei jede Wellenfront im wesentlichen identische Phaseninformation über das Objekt vom Interferometer enthält.

50. Interferometrisches Verfahren nach Anspruch 49, welches ferner den Schritt aufweist, die Interferenz-Wellenformen abzubilden, um ein interferogrammetrisches Bild zu erzeugen, in dem die Phaseninformation über das Objekt, die in jeder Interferenz-Wellenfront vom Interferometer enthalten ist, kombiniert werden, um die Signalpegel zu verbessern, während eine Phaseninformation von Quellen unterdrückt wird, die nicht vom Objekt herrühren und die sonst im interferogrammetrischen Bild als Bildfehler enthalten wären.

51. Interferometrisches Verfahren nach Anspruch 50, welches weiter den Schritt aufweist, das interferogrammetrische Bild zu analysieren um die gewählten Charakteristiken des Objektes zu bestimmen.

52. Interferometrisches Verfahren nach Anspruch 49, bei welchem die Strahlung auf das zu messende Objekt durch wenigstens eine dünne Ringquelle gerichtet wird, die einen konstanten Nennradius besitzt und nominell um die optische Achse zentriert ist.

53. Interferometrisches Verfahren nach Anspruch 51, welches weiter den Schritt umfaßt, Phasenverschiebungen in die Interferenz-Wellenfronten einzuführen und eine Phasenverschiebungs-interferometrische Analyse durchzuführen, um die gewählten Charakteristiken des Objektes zu bestimmen.

54. Interferometrisches Verfahren nach Anspruch 53, bei welchem der Schritt der Einführung der Phasenverschiebungen in die Interferenz-Wellenfronten den Schritt umfaßt, die radiale Lage der beiden Stellen zu verändern.

55. Interferometrisches Verfahren nach Anspruch 50, welches weiter den Schritt umfaßt, das interferogrammetrische Bild zu detektieren, um ein elektronisches Ausgangssignal zu erzeugen und um eine folgende Analyse durchzuführen, wobei der Detektorschritt während einer gegebenen Abtastperiode erfolgt.

56. Interferometrisches Verfahren nach Anspruch 54, bei welchem das interferogrammetrische Bild während einer Zeitdauer erzeugt wird, die nicht länger ist als die gegebene Abtastperiode.

Zusammenfassung

5

Vorrichtung und Verfahren zur Verminderung der Wirkungen kohärenter
Bildfehler in einem Interferometer

10

Es werden ein interferometrisches Gerät und Verfahren beschrieben, wodurch die Wirkung kohärenter Bildfehler in Interferometern reduziert werden. Der Streifenkontrast in Interferogrammen wird aufrechterhalten und kohärente Bildfehler, die sonst in Interferogrammen wegen der kohärenten Überlagerung unerwünschter Strahlung vorhanden sind und in einem Interferometer erzeugt werden, werden unterdrückt. Es werden eine Beleuchtung und eine interferogrammetrische Abbildungsarchitektur benutzt, wodurch individuelle Interferogramme der gewählten Charakteristiken von wenigstens einer Oberfläche aus einer Perspektive unterschiedlicher, von der Achse versetzter, Beleuchtungsstellen in einem Interferometer ausgewählt werden, und dann werden diese kombiniert, um den Streifenkontrast aufrechtzuerhalten und gleichzeitig zu bewirken, daß die Bildfehler an unterschiedlichen Bildstellen auftreten, so daß ihr Anteil an dem kombinierten Interferogramm vermindert wird.

25

BEST AVAILABLE COPY

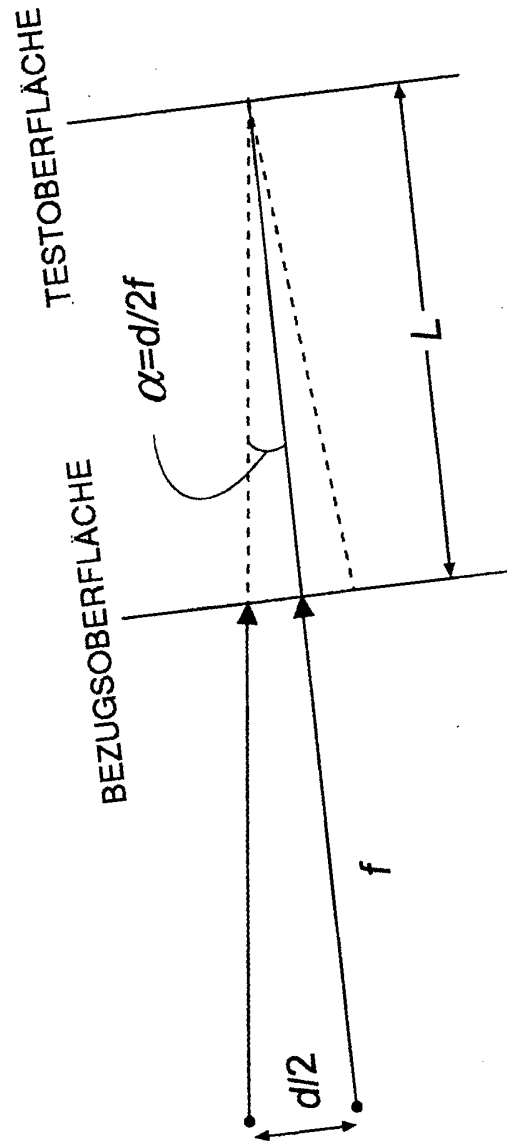


FIG. 1

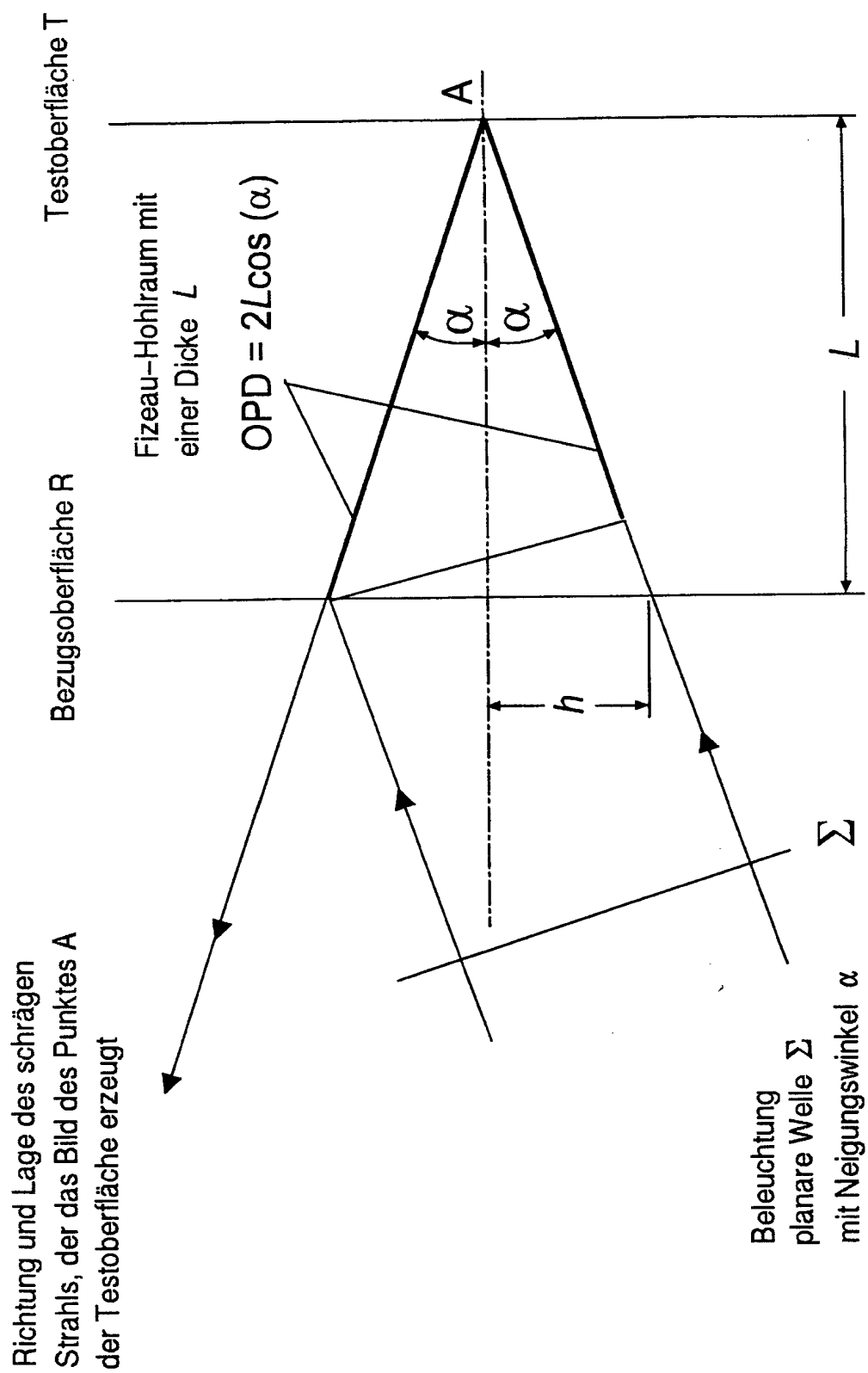


FIG. 2

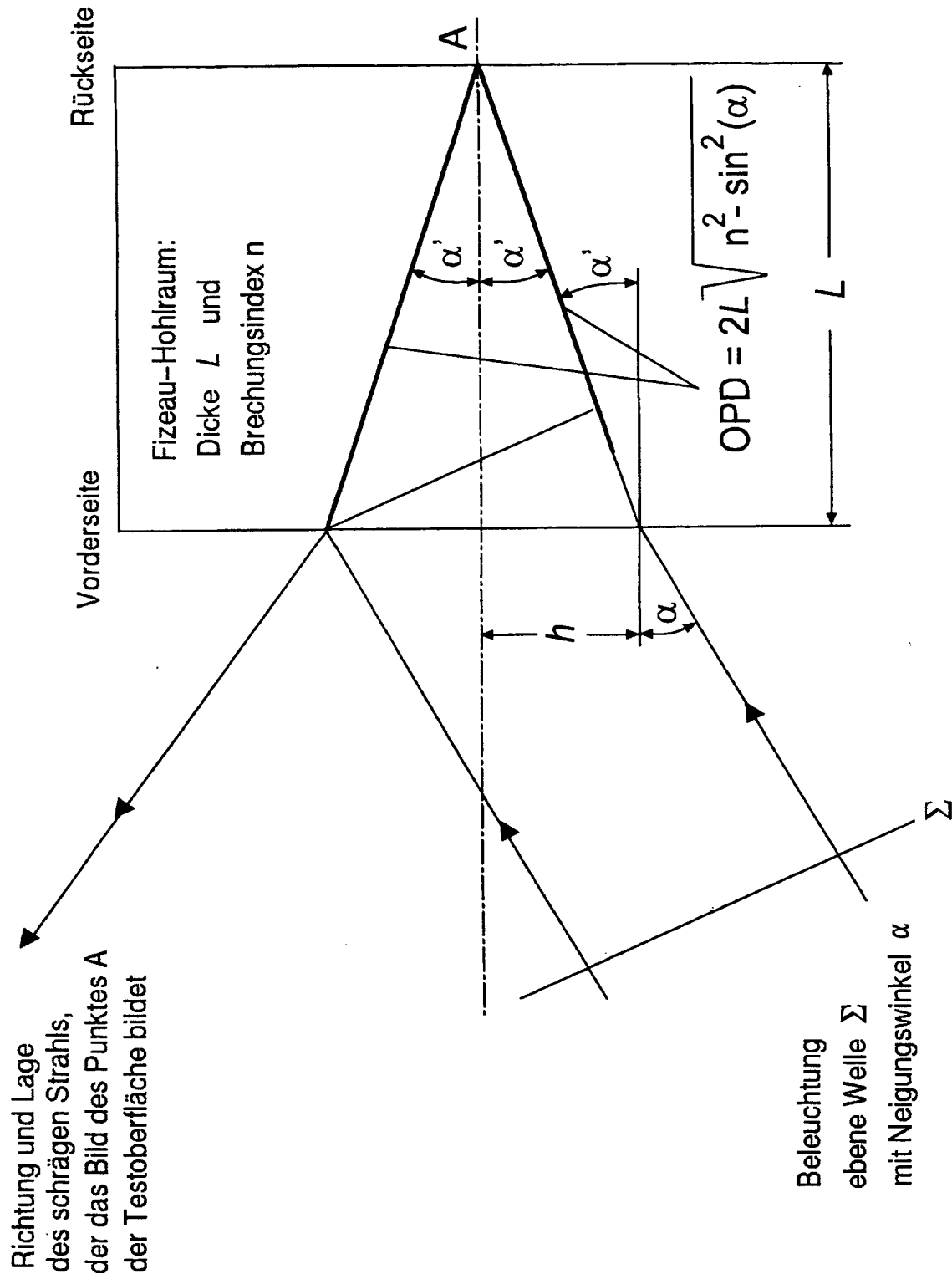


FIG. 3

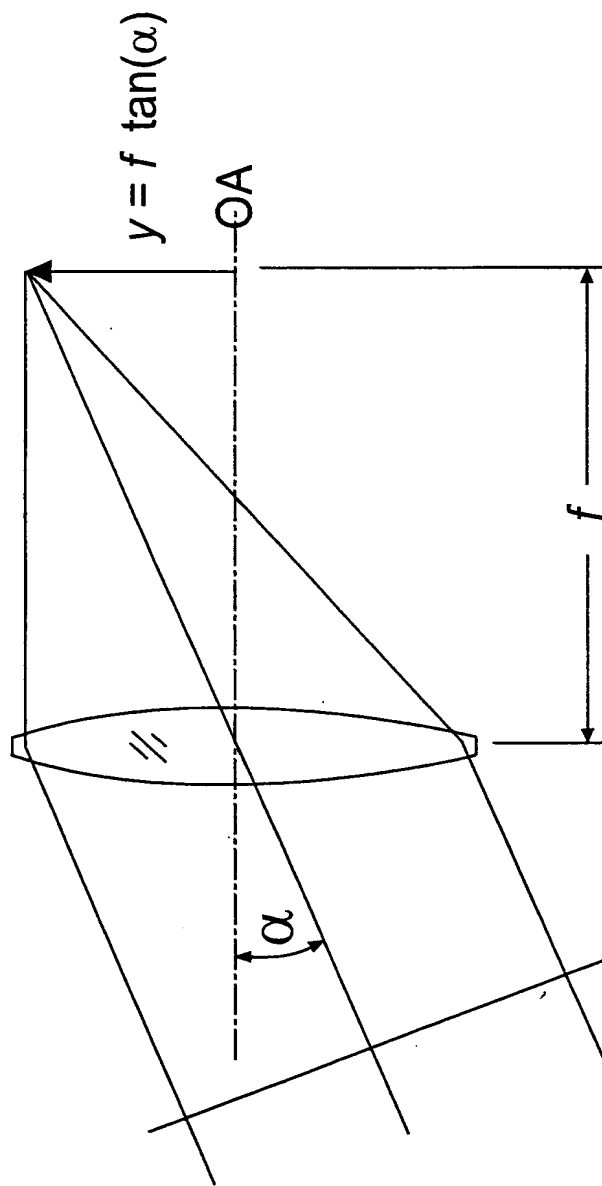


FIG. 4

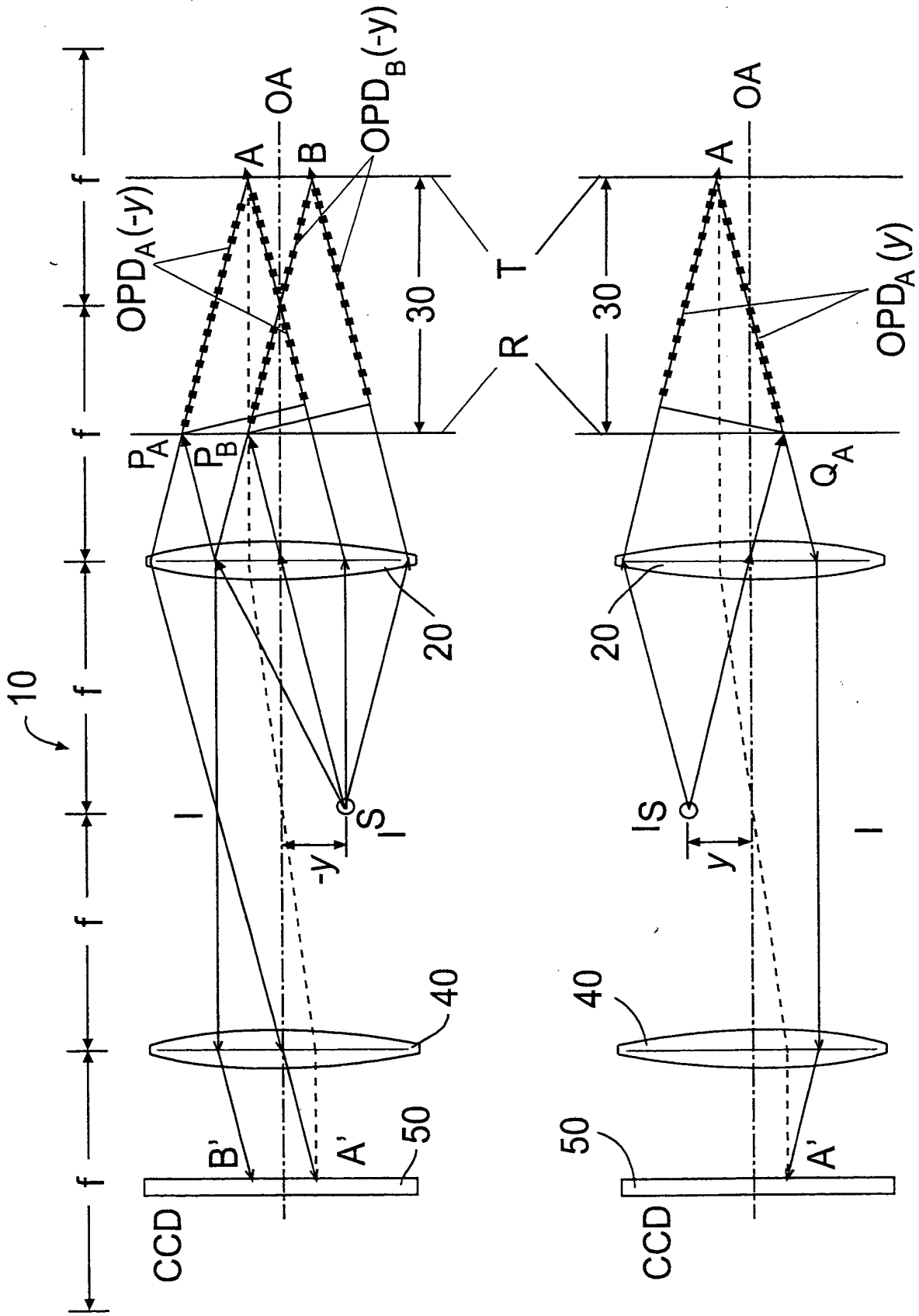


FIG. 5

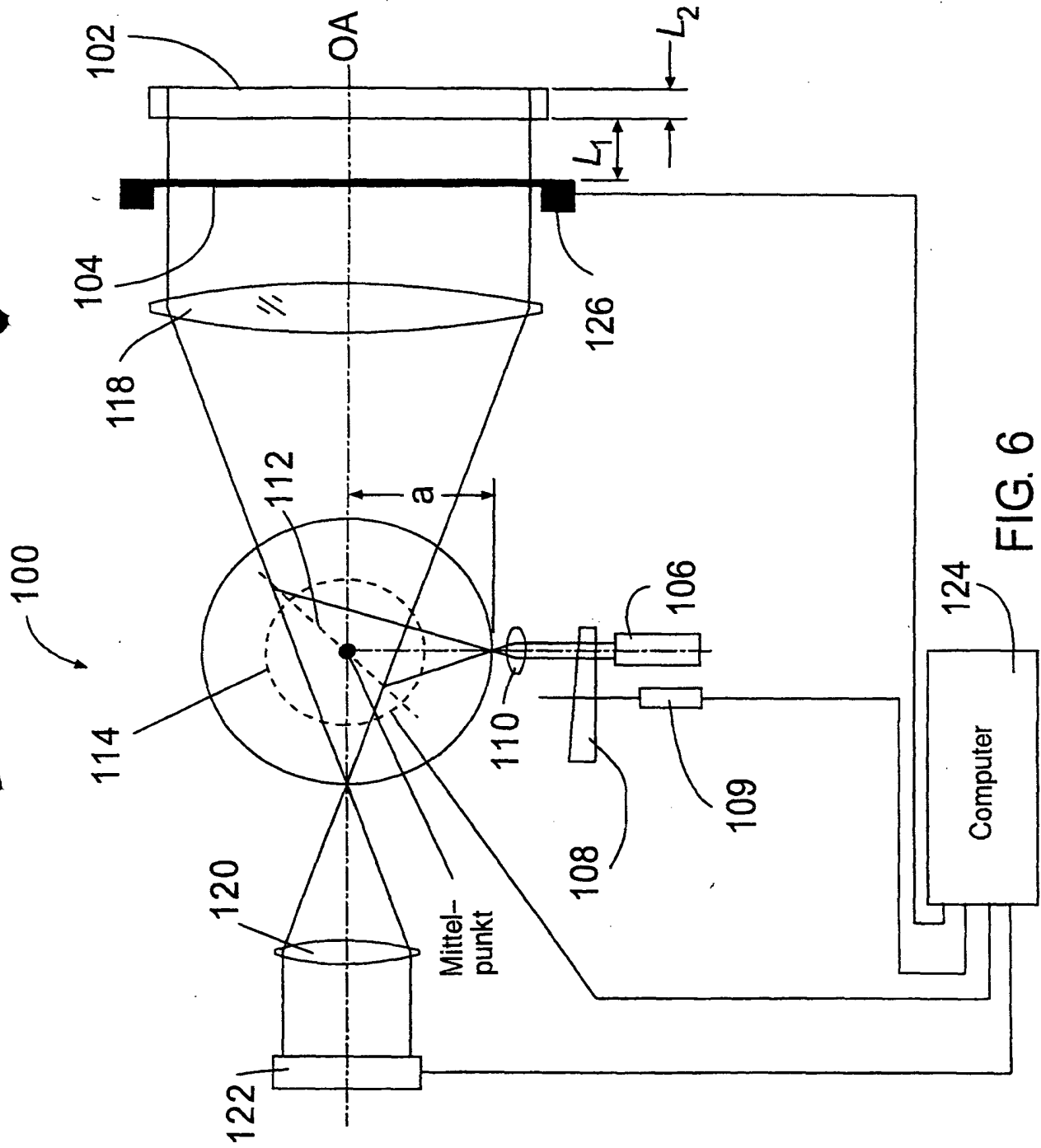


FIG. 6

7/9

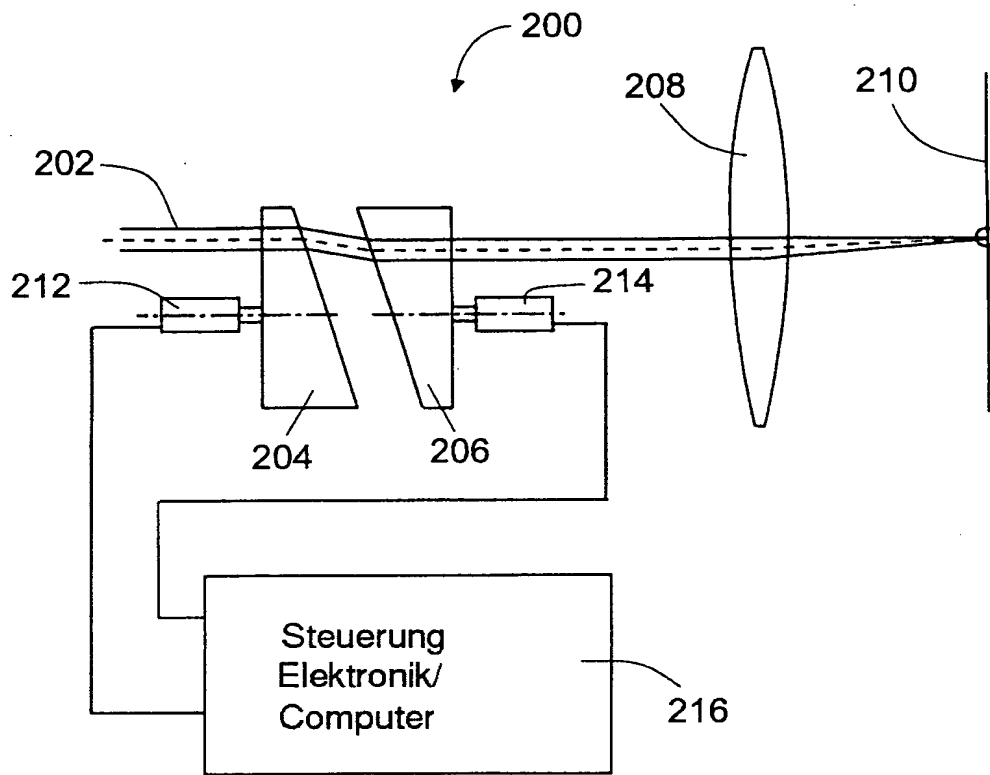


FIG. 7A

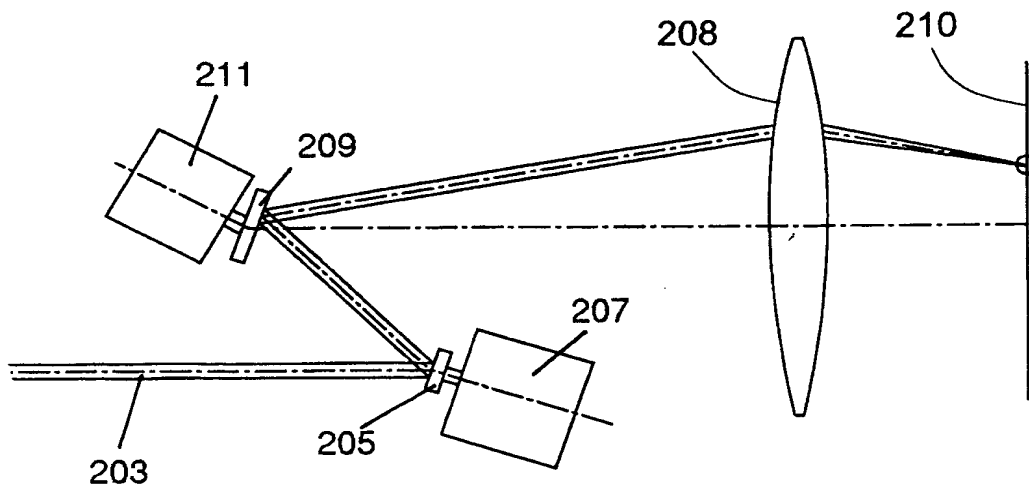


FIG. 7B

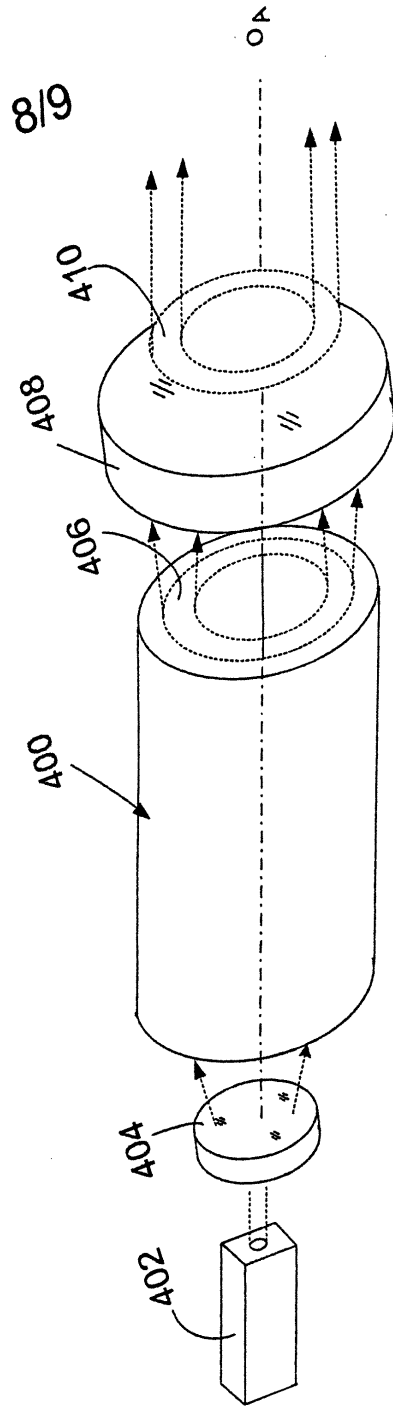
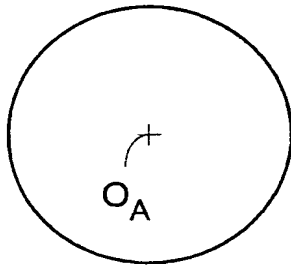


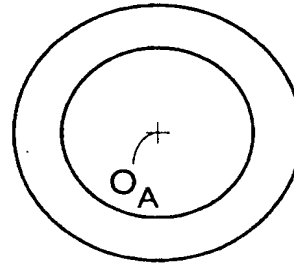
FIG. 8

EINZELRING

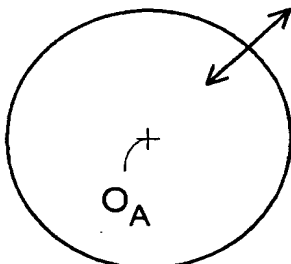


9a

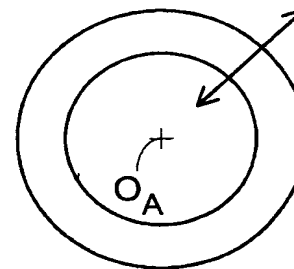
MEHRFACHRING



9c



9b



9d

FIG. 9